

*Tarja Pitkänen, erikoistutkija; Jenni Inkinen, tutkija; Anna-Maria Hokajärvi, tutkija;
Jenni Ikonen, tutkija ja Ilkka T. Miettinen johtava tutkija
Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Asiantuntijamikrobiologiayksikkö*

*Sallamaari Siponen, väitöskirjakoulutettava ja Eila Torvinen, yliopistonlehtori
Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos*

Talousvesiverkostoissa elää monimuotoinen mikrobiyhteisö

Puhdas hanavesi ei ole steriiliä, eikä sen pidäkään olla. Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen ja Itä-Suomen yliopiston yhteinen tutkimushanke selvitti, millaisia eri eliökunnista peräisin olevia eliöitä elää Suomen vesijohtoverkostoissa. Tutkitut eliöyhteisöt koostuivat prokariooteista eli bakteereista, arkeista ja viruksista sekä eukariooteista eli aitotumaisista eliöistä. Eri paikkakunnilla sijaitsevien vesilaitosten vesijohtoverkostoista löydetty eliöyhteisöt poikkesivat toisistaan. Kuitenkin jokainen näistä vesilaitoksista tuotti tasalaatuista ja ihmisen terveyden kannalta hyvää vettä kaikkina eri vuodenaikoina.

Veden käsittelyn ja desinfioinnin avulla talousveden valmistuksessa vedestä pyritään poistamaan kaikki epäpuhtaudet. Tarkoituksena on tuhota mahdolliset taudinaiheuttajamikrobit ja ehkäistä mikrobien kasvua jakeluverkostossa veden hyvän laadun takaamiseksi. Vesi kuitenkin sisältää aina mikrobeja, jotka voivat aiheuttaa veden laadun muutoksia verkostossa esimerkiksi silloin, kun vesijohtoverkoston olosuhteet, kuten veden virtaus tai lämpötila, muuttuvat. Tähän saakka tietämyksemme talousvedessä normaali-tilanteissa elävistä eliöistä on rajoittunut lähinnä heterotrofisten bakteerien, homeiden ja hiivojen muodostamaan pe-

säkelukutietoon. Viiden suomalaisen vesilaitoksen jakeluverkostojen genomia syväsekvensoimalla selvisi, että vesijohtoverkostoissa elää hyvin monimuotoinen eliöstö eli mikrobiomi.

Tässä tutkimuksessa verkostoveden koko mikrobiyhteisöä kartoitettiin geenitietoihin pohjautuvilla menetelmillä. Mikrobiston tutkimuksessa käytettiin molekyylibiologian työvälineenä uuden sukupolven syväsekvensointimenetelmää, joka perustuu bioinformatiikan hyödyntämiseen ympäristön mikrobiyhteisöjen tutkimisessa. Menetelmän avulla voidaan selvittää, mitkä mikrobit ovat läsnä tietyissä näytteissä. Tällä tavoin saadaan tietoa kunkin vesilaitoksen talousveden jakelujärjestelmän mikrobeista sekä siitä, miten mikrobiston rakenne eroaa eri paikkakunnilla.

Vesijohtoverkostojen mikrobiominäytteenoton erityispiirteitä

Koska puhtaassa talousvedessä on mikrobeja lähtökohtaisesti vain vähän, tutkimuksen toteuttamista varten tutkimusryhmä otti käyttöön suuren tilavuuden DEUF-ultrasuodatusmenetelmän, jonka avulla saatiin kerättyä suurimmasta osasta näytteitä riittävästi biomassaa talousveden mikrobiston selvittämistä varten. Sadan litran verkostovesinäytteen ottamiseksi näytteenottopatruuna kytkettiin letkulla näytteenottohanaan (Kuva 1). Patruunan läpi viemäriin virranneen veden litramäärä mitattiin vesimittarin avulla. Noin puoli tuntia kestäneen näytteenoton jälkeen suuren tilavuuden mikrobinäytteen sisältävä DEUF-patruuna oli valmis toimitettavaksi laboratorioon.

Valtaosa talousvesiverkostojen mikro-



Kuva 1. Riittävän biomassan keräämiseksi talousvesinäytteenotossa otettiin käyttöön uusi suuren tilavuuden DEUF-menetelmä. Kuva: Anna-Maria Hokajärvi.

beista elää vesiputkien sisäpinnoille muodostuneissa biofilmeissä. Normaaliolosuhteissa näistä mikrobeista ei ole ihmisten terveydelle haittaa, mutta kasvaessaan runsaina määrinä biofilmit voivat aiheuttaa veden laatuun haju- ja makuvirheitä. On myös mahdollista, että biofilmit ja verkostosaostumat antavat suojapaikan talousveden syystä tai toisesta päässeille ihmisille infektioita aiheuttaville mikrobeille. Tässä tutkimuksessa verkstobiofilmejä tutkittiin paitsi erillisten kiinteistöön asennettujen biofilmikeräinten avulla, myös ottamalla kiinteistöjen vesimittareiden vaihdon yhte-



Kuva 2. Talousvesi-verkoston sisäpinnoille kerääntyneitä mikrobeja etsittiin kiinteistöjen vesimittareista. Kuva: Tarja Pitkänen.

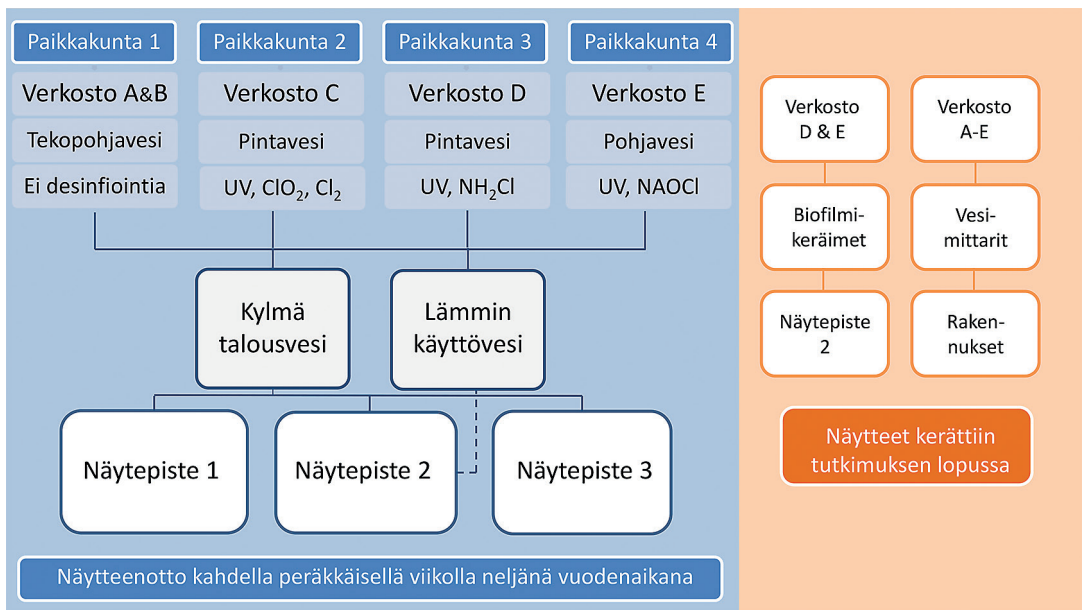
ydessä vanhojen vesimittareiden sisältämät biofilmit talteen (Kuva 2).

Suomen Akatemian rahoittamassa DWDSOME (Mikrobiyhteisöjen dynamiikka talousveden jakelujärjestelmissä)-hankkeessa kerättiin vuonna 2015 viiden suomalaisen vesilaitoksen jakeluverkostoista yhteensä 124 kylmävesi-, 40 kuumavesi- ja 16 biofilminäytettä (Kaavio). Koska talousveden raakaveden ja käsittelyprosessin tiedetään vaikuttavan merkittävästi talousveden mikrobiologiaan, mukaan tutkimukseen valittiin mahdollisimman erilaisia vesilaitoksia. Mukana oli kaksi tekopohjavesilaitosta, joilla ei ollut käytössään desinfiointia, sekä kolme UV- ja klooridesinfiointia käyttävää vesilaitosta, joista kahden raakavetenä oli pintavesi ja yhden pohjavesi. Talousveden viipymän ja jakeluverkon vaikutuksia selvitettiin valitsemalla jokaisesta tutkittavasta verkostosta kolme näytepistettä eri etäisyyksiltä vesilaitoksesta. Tämän lisäksi tarkastelussa oli eroavaisuudet kylmän talousveden ja lämpimän käyttöveden mikrobiologian ja eri vuodenaikojen välillä.

Uutta tietoa vesijohdoissa elävistä eukariooteista

Vasta viime vuosina on alettu ymmärtää, että myös muut organismit kuin bakteerit ovat monipuolisesti edustettuina vesijohtoverkostoissa. Tässä tutkimuksessa suuren vesitilavuuden (100 L) kerääminen DEUF-ultrasuodatusmenetelmällä mahdollisti myös eukarioottien tutkimisen. Eukariootteja ovat muun muassa sienet, levät, eläimet ja kasvit, ja niiden rooli vesijärjestelmien eliöyhteisön osana on vielä pitkälti tuntematon. Vedenkäsittelyprosessilla on havaittu olevan erityistä vaikutusta bakteerien ohella myös eukarioottiyhteisöihin.

Eukarioottiyhteisöt erosivat toistaan eniten vedenjakeluverkostokohtaisesti, joissa raakavesityyppi (tekopohjavesi, pintavesi tai pohjavesi), vesilaitoksen maantieteellinen sijainti (neljä eri paikkakuntaa Suomessa) ja vedenpuhdistusprosessi erosivat toisistaan (Kuva 3). Tutkimuksessa havaittiin enemmän erilaisia eukariootteja desinfioimattomissa vesissä verrattuna UV-desinfioinnin lisäksi vapaan tai sidotun kloorin avulla

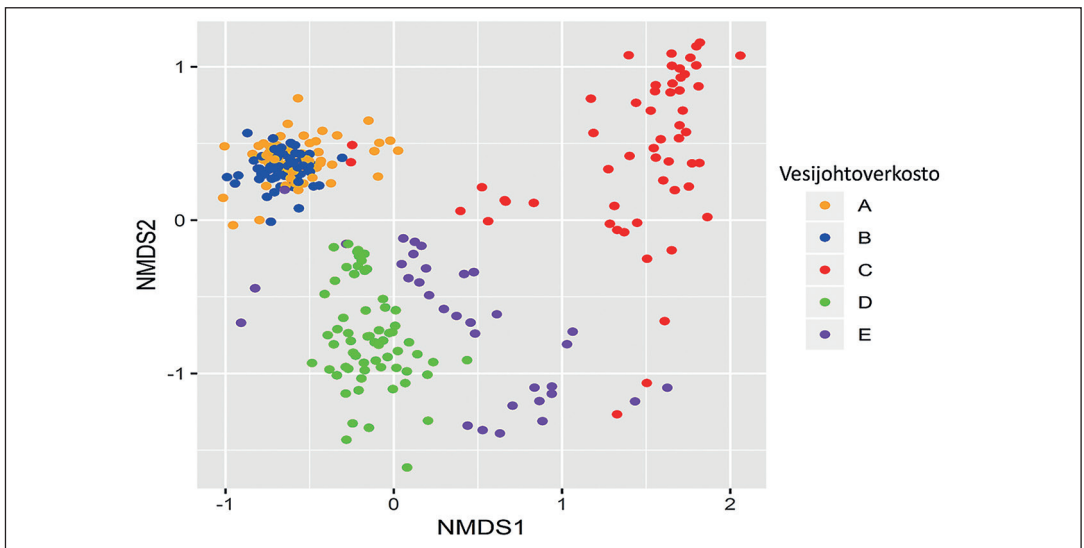


Kaavio. DWDSOME-tutkimuksen näytteenottoasetelma.

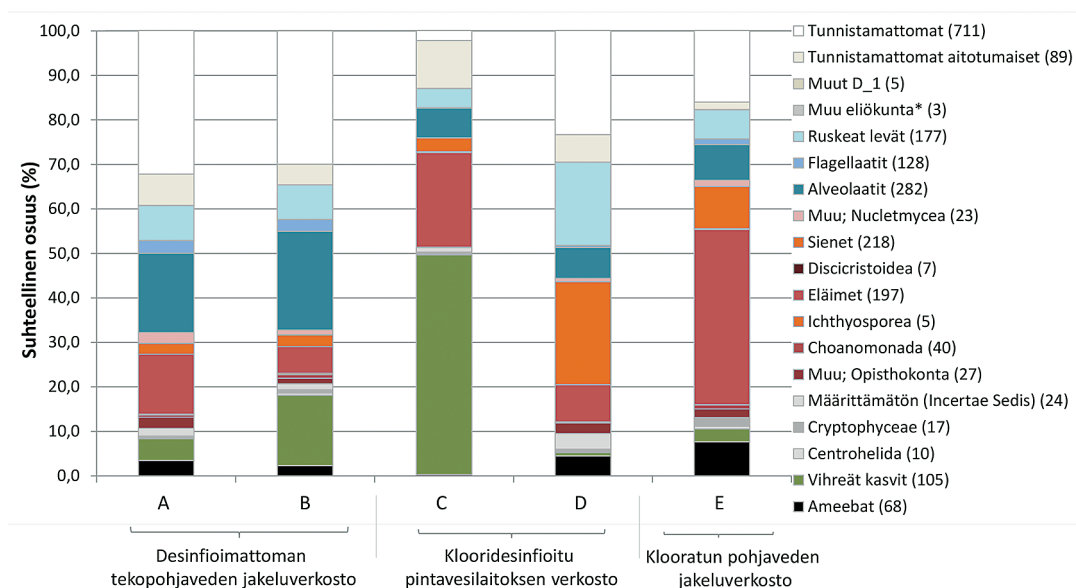
desinfioidun talousvesien eukarioottiyhteisöön. Jäännöskloori (0,1–0,6 mg/l verkostossa) näytti vähentävän tehokkaasti eukarioottiyhteisön diversiteettiä, mikä voi olla merkityksellistä veden laadun hallinnan kannalta. Näytepisteen sijainnilla verkos-

tossa ja näytteenottokerran vuodenaikalla oli merkitystä vain yksittäisissä pisteissä, eli vesilaitokset tuottivat verkostoihinsa pääsääntöisesti tasalaatuista vettä.

Suuri osa vesilaitosten, erityisesti desinfiomattomien vesien, eukarioottitaksoneista



Kuva 3. Vesijohtoverkostoista A–E kerättyjen aivotumaisten eliöiden beta-diversiteetti ryhmittynyt vesijohtoverkoston mukaan painotetussa moniulotteisessa ordinaatioanalyyssissä (Non-Metric Multidimensional Scaling; NMDS). Muokattu Inkinen ym. (2019) julkaisemasta kuvasta.



Kuva 4. Talousvesiverkostoista tunnistettujen aitotumaisten yhteisörakenteet olivat erilaisia tutkittujen vedenjakeluverkostojen välillä. Muokattu Inkinen ym. (2019) julkaisemasta kuvasta.

**Discoba*, *Malawimonas*, *Haptophyta*.

jäi vielä tunnistamatta (Kuva 4). Lähes jokaisella vesilaitoksella esiintyi eläinkunnasta rataseläimiä (*Rotifera*), sukkulamatoja (*Nematoda*), vihreitä kasveja ja levää (*Chloroplastida*), ripsieläimiä (*Ciliophora*), sienä (*Fungi*) ja ameboja (mm. *Amoebozoa*). Näitä on tavattu maailmanlaajuisesti talousvesissä ja niiden voidaan ajatella olevan osa normaalia talousveden eliöstöä. On mahdollista, että esimerkiksi rataseläimillä tai sukkulamadoilla voi olla hyödyllinen rooli vedenpuhdistuksessa orgaanisen aineksen tai bakteerien kuluttajina.

Vesistä löytyi mahdollisesti haitallisia homelajeja (mm. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Candida*, *Stachybotrys*, *Alternaria*). Suurin prosentuaalinen osa havaituista homeista kuului viljelymenetelmällä havaitsematta jäävään *Cryptomycota* -pääjaksoon. Tutkimuksessa havaittiin myös vapaana eläviä ja aktiivisia ameboja (erityisesti *Vannella*), jotka voivat toimia joidenkin tautia aiheuttavien ja ameboille vastustuskykyisten bakteerien kuten *Legionella*-bakteerin isäntänä edistään

näiden taudinaiheuttajabakteerien elinkykyä. Amebojen suhteelliset osuudet olivat kuitenkin hyvin pieniä kokonaisuhteisöistä ja niiden mahdollista terveysvaikutusta ei voitu arvioida.

Tutkimusaineiston hyödyntäminen jatkossa

Vuosina 2014–2018 toteutetun DWDSOME-hankkeen tavoitteena oli selvittää ympäristöolosuhteiden vaikutuksia mikrobiyhteisöjen rakenteeseen suomalaisten vesilaitosten talousveden jakelujärjestelmissä. Kun tiedetään millainen vesijohtoveden kokonaismikrobisto on eri puolilla Suomea normaalitilanteissa, verkostoveden laatuun liittyviä riskejä on mahdollista jatkossa tunnistaa ja ennaltaehkäistä entistä paremmin.

DWDSOME-hanke antoi tärkeää pohjatietoa Suomessa hyvin toimivien vesilaitosten mikrobipopulaatioista. Tutkimuksessa mukana olleista viidestä vesilaitoksesta kaksi ei käytä desinfiointia ja kolmella laitoksista

on käytössä UV-desinfiointi yhdistettynä klooridesinfiointiin. Desinfioimattomassa vedessä verkostojen mikrobisto oli monipuolisempaa kuin desinfiointia käyttävien vesilaitosten vesissä. Lämpimän käyttöveden näytteissä havaittiin vähemmän eukariorotteja ja osa tutkituista potentiaalisista ihmisten terveydelle haittaa aiheuttavista mikrobeista oli vähemmän aktiivisia kuin kylmässä talousvedessä. Tulevat tutkimukset voivat hyödyntää näitä tietoja ja edelleen selvittää erilaisten mikrobien rooleja vesijärjestelmissä.

DWDSOME-hankkeessa tuotettiin kaiken kaikkiaan valtava määrä sekvenssiaineistoa, josta tutkijat voivat jatkossa selvittää lisää talousveden mikrobiomin erityispiirteitä. Jatkotutkimuksissa mielenkiinnon kohteena on muun muassa talousveden arkki- ja virusyhteisöjen rakenteen selvittäminen. Tiedon lisääntyessä on mahdollista luoda lisää hallintakeinoja turvallisen juomaveden takaamiseksi.

Kirjallisuusviitteet

Ikonen, J., Hokajärvi, A-M., Heikkinen, J., Pitkänen, T., Ciszek, R., Kolehmainen, M., Pursiainen, A., Kauppinen, A., Kusnetsov, J., Torvinen, E., Miettinen, I.T. (2017) Drinking water quality in distribution systems of surface and ground waterworks in Finland. *J Water Security*; 3, doi: 10.15544/jws.2017.004.

Inkinen J, Jayaprakash B, Siponen S, Hokajärvi AM, Pursiainen A, Ikonen J, Ryzhikov I, Täubel M, Kauppinen A, Paananen J, Miettinen IT, Torvinen E, Kolehmainen M, Pitkänen T. (2019) Active eukaryotes in drinking water distribution systems of ground and surface waterworks. *Microbiome*. 2019 Jul 3;7(1):99. doi: 10.1186/s40168-019-0715-5. ■